

Diseño de corredores ecológicos como herramienta de manejo del paisaje para la conservación de mamíferos en la Orinoquía

Ecological corridors designing as a landscape management tool for mammals conservation in the Orinoquia

Desenho de corredores ecológicos como ferramenta de gestão da paisagem para a conservação de mamíferos na Orinoquia

Ángela M Herrera-Bustos¹ , Ximena A Castro-Ordoñez² , Gustavo Araque-Echeverry³ ,
Luis E Becerra-López⁴ , Diana C Angulo-Rivera⁵ , Karen Pérez-Albarracín⁶ 

Artículo de revisión

Recibido: 02 de marzo de 2022

Aceptado: 18 de agosto de 2022

- 1 Grupo técnico de la línea en consultoría ambiental de la Fundación Orinoquia Biodiversa, Eco; <https://orcid.org/0000-0002-9651-8140> Email: angela.herrerab@gmail.com
- 2 Fundación Orinoquia Biodiversa, Biol; <https://orcid.org/0000-0001-8806-7506> Email: xcastro@orinoquiabiodiversa.org
- 3 Fundación Orinoquia Biodiversa, Econ, MSc; <https://orcid.org/0000-0003-3703-3407> Email: garaque.fob@gmail.com
- 4 Fundación Orinoquia Biodiversa, Ing Cat; <https://orcid.org/0009-0001-5768-4875> Email: luissebecerra@hotmail.com
- 5 Fundación Orinoquia Biodiversa, Biol; <https://orcid.org/0009-0004-2783-1370> Email: dca.bio84@gmail.com
- 6 Fundación Orinoquia Biodiversa, Biol; <https://orcid.org/0000-0002-4630-0856> Email: karenperez@orinoquiabiodiversa.org

RESUMEN

Los procesos de degradación y fragmentación de los ecosistemas naturales generados a partir de la transformación de la Orinoquía colombiana han alterado la matriz del paisaje, afectando las poblaciones de fauna como consecuencia de la disminución y aislamiento de sus hábitats. Por lo anterior, se propone el diseño de corredores ecológicos para especies de mamíferos como una herramienta de manejo de paisaje para la priorización de áreas de importancia ambiental. Para la elaboración de los corredores se empleó la metodología de rutas de mínimo costo a partir del análisis de resistencia del paisaje y criterios de evaluación mediante el cual se definió el *home range* para cuatro especies sombrilla. Como resultado se generaron ocho corredores para *Tapirus terrestris*, *Alouatta seniculus*, *Panthera onca* y *Pteronura brasiliensis*, con los cuales se fomenta la conectividad estructural del paisaje entre áreas de interés ambiental y áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) en los departamentos de Casanare y Arauca.

Palabras clave: Biodiversidad, conectividad estructural, Orinoquía, home range, rutas de menor costo, priorización de áreas

Como Citar (Norma Vancouver): Herrera-Bustos AM, Castro-Ordoñez XA, Araque-Echeverry G, Becerra-López LE, Angulo-Rivera DC, Pérez-Albarracín K. Diseño de corredores ecológicos como herramienta de manejo del paisaje para la conservación de mamíferos en la Orinoquía. Orinoquia, 2022; 26(2): e-781 <https://doi.org/10.22579/20112629.781>

La Revista Orinoquia es una revista de acceso abierto revisada por pares. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Consulte <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

OPEN ACCESS



ABSTRACT

Degradation and fragmentation of natural ecosystems processes generated by the transformation of the Orinoquia colombiana have altered the landscape matrix, affecting fauna populations as a consequence of their habitat decrease and isolation. Therefore, the design of ecological corridors for mammal species is proposed as a landscape management tool for the prioritization of areas of environmental importance. For the corridors design, the Least Cost Path methodology was used based on the resistance of the landscape and evaluation criteria through the home range was defined for four umbrella species. As a result, eight corridors were generated for *Tapirus terrestris*, *Alouatta seniculus*, *Panthera onca* and *Pteronura brasiliensis*, which increase the functional connectivity between areas of environmental interest and areas of the Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) in Casanare and Arauca departments.

Keywords: Biodiversity, structural connectivity, Orinoquia, home range, least cost routes, areas prioritization

RESUMO

Os processos de degradação e fragmentação dos ecossistemas naturais gerados pela transformação da Orinoquia colombiana alteraram a matriz da paisagem, afetando as populações da fauna como consequência da diminuição e isolamento de seus habitats. Portanto, o desenho de corredores ecológicos para espécies de mamíferos é proposto como uma ferramenta de gestão da paisagem para a priorização de áreas de importância ambiental. Para o desenho dos corredores, foi utilizada a metodologia do Caminho de Menor Custo com base na resistência da paisagem e critérios de avaliação ao longo da área de vida foram definidos para quatro espécies guarda-chuva. Como resultado, foram gerados oito corredores para *Tapirus terrestris*, *Alouatta seniculus*, *Panthera onca* e *Pteronura brasiliensis*, que aumentam a conectividade funcional entre áreas de interesse ambiental e áreas do Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) nos departamentos de Casanare e Arauca.

Palavras chave: biodiversidade, conectividade estrutural, Orinoquia, home range, rotas de menor custo, priorização de áreas

INTRODUCCIÓN

Los procesos de fragmentación del paisaje se han consolidado como la principal causa de la disminución de la biodiversidad de los ecosistemas debido a la pérdida de hábitat y conectividad de las poblaciones de distintas especies. Las actividades antrópicas como la ampliación de frontera agrícola y pecuaria, la deforestación y la industria

extractiva, involucran diferentes procesos que pueden llegar a causar cambios en las condiciones ambientales de los ecosistemas, como alteraciones en las interacciones ecológicas asociadas a la pérdida de conectividad estructural, obstaculizando el movimiento de la fauna entre fragmentos del paisaje, lo cual, puede desencadenar en afectación en la distribución de especies y hábitats dentro del mismo (Dunning *et al.*, 1992) (Taylor *et*

al.,1993) (Bustamante y Grez, 1995) (Fahring, 2007) (Lozano-Zambrano, 2009) (Laurance, 2010) (Driscoll et al., 2013) (Vergara et al., 2019).

Durante las últimas décadas se han desarrollado estrategias enfocadas en generar acciones de conservación de la diversidad biológica, las cuales se encuentran relacionadas con potenciar las redes de conectividad estructural de áreas que han sido aisladas por efectos antrópicos (Alonso et al., 2017). Dentro de estas estrategias, los corredores ecológicos juegan un papel relevante como herramientas de manejo del paisaje a escala territorial, los cuales se consolidan como un elemento de alta importancia para la gestión de la biodiversidad y la conectividad del paisaje (Lindernmayer y Franklin, 2002) (Bennet, 2003).

En este sentido, los corredores ecológicos se fundamentan bajo el supuesto que los fragmentos conectados mediante la continuidad de coberturas naturales disminuyen la tasa de extinción de las especies permitiendo el intercambio genético y energético a través de áreas de mayor extensión geográfica (Primack et al., 2001) (Salom-Pérez et al., 2010) (Alonso et al., 2017). Es por ello, que el mantenimiento de la conectividad del paisaje se constituye como la condición clave para la persistencia de la biodiversidad, así como una herramienta ecológica importante en las labores de conservación y planificación del territorio (Correa, et al., 2014).

Para el diseño de corredores ecológicos se hace útil emplear el área de distribución de especies o *home range* ya que, esta permite identificar la fracción geográfica en donde una especie está presente e interactúa con los demás objetos que integran un paisaje (Zunino, 1991) y más aún si las especies seleccionadas sirven como especies sombrillas, cuya conservación comprenda requerimientos ecológicos de una variedad de organismos con las que exista relación alguna (Bani, Baietto, y Bottoni, 2002) (Beier, Majka, y Spencer, 2008).

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente estudio se diseñaron corredores ecológicos a través de modelos de conectividad estructural para cuatro especies sombrilla identificando las rutas de

menor costo, a partir del *home range* de estas lo cual permitió priorizar áreas de conservación en la Orinoquía de Colombia, que sirvieran como instrumento para la planificación en la toma de decisiones y futura ejecución de estrategias de conservación y uso sostenible, buscando el incremento de la conectividad por medio de ganancia de coberturas boscosas entre fragmentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Para el presente estudio se propuso el diseño de corredores ecológicos en las subzonas hidrográficas (SZH) del Río Cravo Norte, Río Pauto, Caño Guanapalo y otros directos al Meta, Río Cravo Sur, Directos al Meta entre ríos Cusiana y Cravo Sur, Río Cusiana, Río Upía y Río Túa y otros directos al Meta, en los departamentos de Arauca y Casanare (Figura 1).

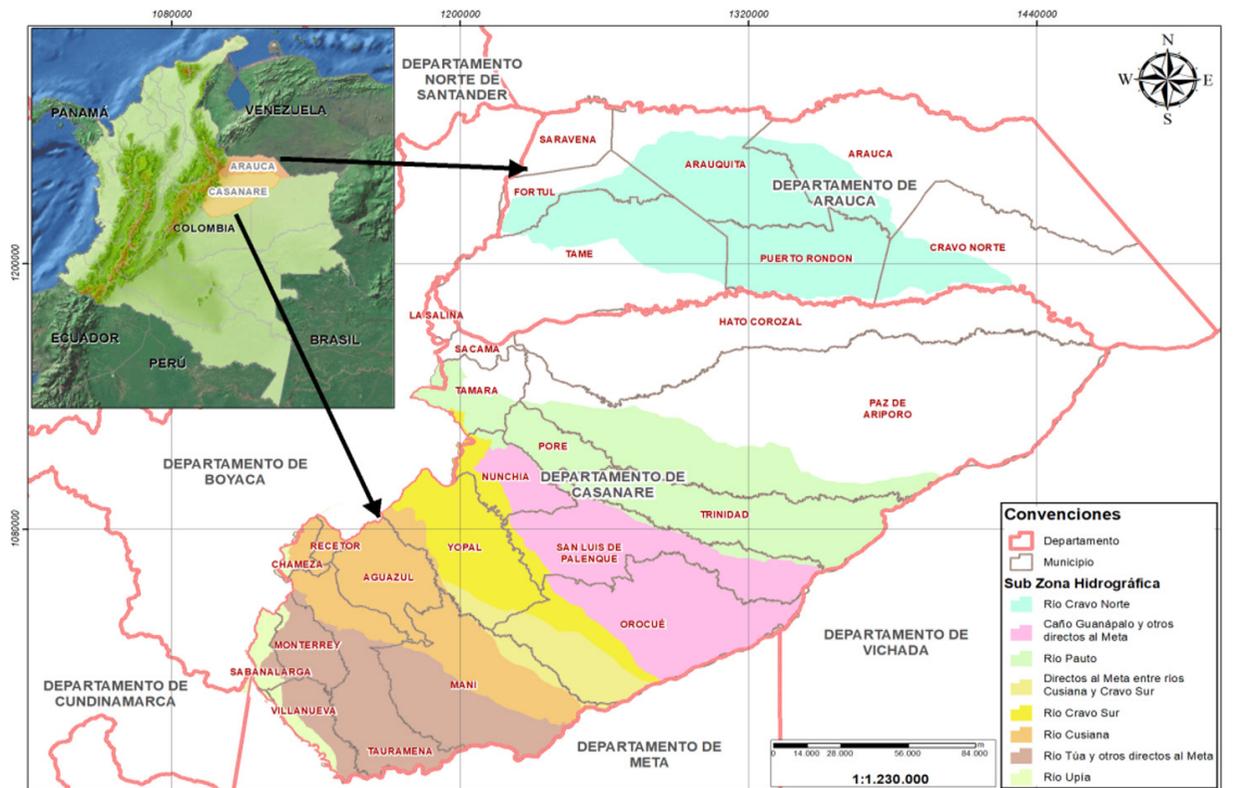
Selección especies focales

Para representar la conectividad ecológica de un amplio rango de especies de fauna en un territorio resulta útil enfocarse en especies sombrilla, es decir, aquellas que requieren grandes extensiones de tierra para subsistir de manera natural y que permiten la conservación del ecosistema al cual se asocian (Isasi-Catalá, 2011) (Kirk, et al., 2023). Con base en la anterior premisa, se seleccionaron cuatro (4) especies de grandes y medianos mamíferos representativos de la Orinoquía, los cuales fueron seleccionados para los departamentos de Casanare y Arauca a partir del criterio de expertos de la región: *Tapirus terrestris* (danta de tierras bajas), *Alouatta seniculus* (mono aullador), *Panthera onca* (jaguar) y *Pteronura brasiliensis* (nutria gigante de río o perro de agua).

Descripción de variables seleccionadas para el cálculo de resistencia del paisaje

A continuación, se presentan las definiciones de las variables seleccionadas para el cálculo de resistencia, tomando como fuente el "catálogo de

Figura 1. Ubicación del área de estudio. Subzonas hidrográficas (SZH) donde se diseñaron los corredores biológicos



objetos geográficos cartografía básica digital (2016), las cuales fueron ponderadas con base en la opinión de expertos en las especies focales seleccionadas:

- Vías: Camino delimitado para el tráfico vehicular, animal o personal. Para este análisis se tomó información a escala 1:100000 del año 2014 en el cual se incorporó las vías tipo 1, que son vías pavimentadas de más de 2 carriles, vías tipo 2, es decir, vías sin pavimentar de más de dos carriles y vías tipo 3, que hacen referencia a vías pavimentadas con un ancho inferior o igual a 5 metros.
- Centros Poblados: Entidades territoriales y divisiones del territorio con una localización geográfica de núcleos de población.
- Drenajes: definidos como un flujo de agua superficial o afloramiento de agua que desemboca en otra corriente, en una laguna o en el mar.
- Coberturas de la tierra: Tomado del mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia escala 1:100.000 disponible para el año 2017, y procesadas en el software ArcGis 10.5 en formato *raster* con una resolución de píxel de 30 metros.
- Construcciones: Variable empleada únicamente para la especie *P. onca* considerándola como aquella variable que responde de manera estructural al conflicto felino-humano, esta fue obtenida a través de planchas IGAC del año 2015 a escala 1:25.000 y corresponde a todas aquellas edificaciones rurales apartadas de los cen-

tros poblados, las cuales se consolidan como elementos del paisaje tensionantes que inciden en los procesos de movilidad para este felino.

Valoración del grado de resistencia y selección de home range

La resistencia que ofrece un paisaje al movimiento de especies de fauna depende de las características físicas o elementos que lo componen. Para cuantificar la resistencia que exhibe el paisaje evaluado se empleó un análisis basado en la consulta a diferentes expertos con amplio conocimiento en la ecología de las especies seleccionadas y en los ecosistemas de la región de la Orinoquia. Dicho análisis se basó en la ponderación de variables tanto antrópicas como naturales que determinan las relaciones espaciales que se llevan a cabo en el paisaje y por ende facilitan o dificultan el desplazamiento de dichas especies; para el presente estudio estas variables fueron determinadas por: coberturas de la tierra, distancias a: vías, centros poblados, drenajes dobles. Estas variables fueron seleccionadas de acuerdo con estudios de conectividad realizados previamente (Etter *et al.*, 2011) (Zeller *et al.*, 2012) (Correa *et al.*, 2014) (Correa *et al.*, 2017).

Las variables utilizadas fueron procesadas mediante herramientas de análisis espacial del software mencionado, calculando la distancia euclidiana para cada una de ellas, así asegurando el tamaño de cada pixel con un valor de 30 metros, posterior a esto se reclasificó la información con el fin de vectorizar cada dato, logrando calcular las distancias al centroide para discriminar los datos de acuerdo a los valores de resistencia.

Posteriormente se realizó la ponderación numérica propuesta por la metodología de Índice de Huella Espacial Humana para Colombia propuesta por (Etter *et al.*, 2011) con el fin de jerarquizar los niveles de resistencia al movimiento de las es-

pecies seleccionadas que ofrece el paisaje. Esta ponderación fue propuesta como resultado de la valoración de expertos locales para cada una de las especies de acuerdo con el conocimiento de estas, particularmente para el departamento de Casanare y Arauca (en el caso de *P. brasiliensis*). En la Tabla 1 se presentan las categorías de ponderación de cada una de las variables evaluadas para las especies seleccionadas. Los resultados fueron reclasificados en una escala numérica de cero (0) a cinco (5) donde cero (0) correspondió a aquellas áreas que por sus condiciones estructurales no limitan el desplazamiento de las especies, mientras que cinco (5) hizo referencia a aquellas zonas del paisaje que más resistencia generan para la movilidad de estas.

A partir de esta ponderación, para cada una de las especies seleccionadas se calculó la resistencia acumulada, que incluye la sumatoria cartográfica de todas las variables analizadas con el fin de generar el mapa final de resistencia acumulada que ofrece el paisaje evaluado. Este proceso se realizó empleando la herramienta *Gnarly Landscape Utilities* para ArcGis 10.5 mediante la cual se calculó la resistencia acumulada en una capa final. En primera instancia se generó una geodatabase, conformada por las capas de las variables con el atributo de resistencia y una hoja de cálculo con la información de cada uno de los polígonos clasificados por resistencia y asociado a cada uno de los objetos. Al ejecutar la herramienta e ingresar la información de entrada, se seleccionó la herramienta SUM como método de cálculo, esta herramienta toma todos los valores de las capas, sumando cada pixel para calcular el efecto acumulativo de cada una de las variables y de esta manera se identificaron las zonas con valores más bajos o de menor resistencia y más altos o de mayor valor. Como resultado se obtuvo el mapa final de resistencia acumulada que ofrece el paisaje evaluado, clasificándolo como lo propone Correa, (2014), en una escala de muy baja, baja, moderada, alta y muy alta.

Tabla 1. Categorías de ponderación de cada una de las variables evaluadas para las especies focales seleccionadas

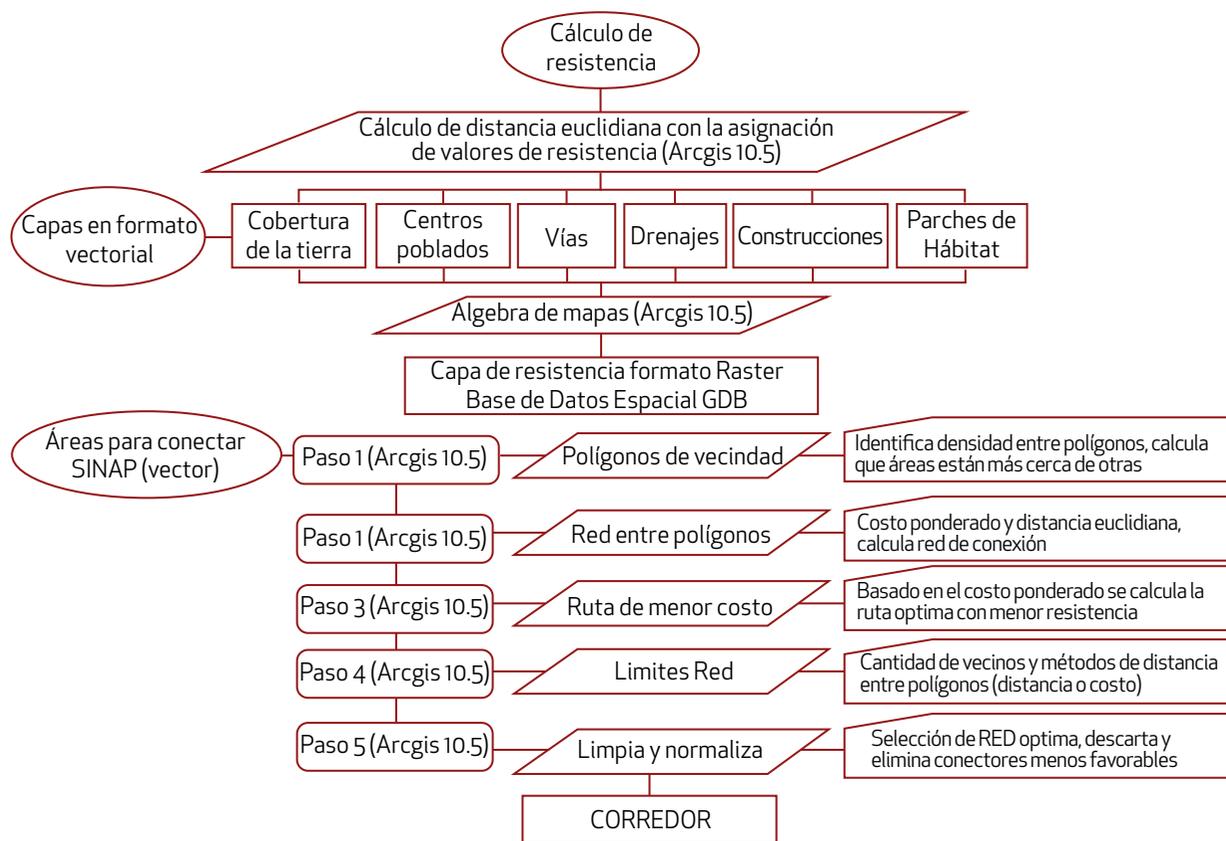
Resistencia	Cobertura de la tierra	Danta (T. terrestres)			Mono Aullador (A. seniculus)			Jaguar (P. onca)			Nutria (P. brasiliensis)			
		Distancia a centros poblados	Distancia a vías	Distancia a drenajes	Distancia a centros poblados	Distancia a vías	Distancia a drenajes	Distancia a centros poblados	Distancia a vías	Distancia a drenajes	Distancia a centros poblados	Distancia a vías	Distancia a drenajes	
0	Bosque de galería y/o ripario; Bosque abierto alto; Bosque abierto bajo; Bosque denso alto; Bosque denso bajo; Río	>5km	>5km	< 1km	>18Km	>8Km	0 - 0,05 Km	>8km	>8km	<1km	2,5km - 3Km	> 6Km	> 6km	< 1km
1	Bosque fragmentado con pastos y cultivos; Bosque fragmentado con vegetación secundaria; Lagunas; Vegetación secundaria; Zonas pantanosas; Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	4km - 5km	4km - 5km	1km - 2km	12 - 18 Km	6 - 8 Km	0,05 - 0,1 Km	8-6km	8-6km	2-1km	2 km - 2,5Km	5Km - 6 Km	5Km - 6 Km	1Km - 2 Km
s2	Arbustal abierto; Arbustal denso; Herbazal abierto; Herbazal denso; Mosaico de pastos con espacios naturales	3km - 4km	3km - 4km	2km - 3km	8-12Km	4 - 6 Km	0,1 - 0,5 Km	6-4 km	6-4 km	4-2km	1,5 km - 2 km	5Km - 4 Km	5Km - 4 Km	2Km - 3Km
3	Áreas abiertas sin vegetación; Mosaico de cultivos y espacios naturales; Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales; Zonas arenosas naturales	2km - 3km	2km - 3km	3km - 4km	4 - 8 Km	2 - 4 Km	0,5 - 1Km	4-2 km	4-2 km	6-4 km	1 km - 1,5 km	4Km - 3 Km	4 Km - 3km	3Km - 4km
4	Mosaico de cultivos y pastos; Palma de aceite; Plantación forestal; Pastos; Café; Cuerpo de agua artificial	1km - 2km	1km - 2km	4km - 5km	2 - 4 Km	1 - 2 Km	1 - 2 Km	2-1 km	2-1 km	8-6km	0,5 km - 1 km	3Km - 1 Km	3Km - 1 Km	4Km - 6km
5	Territorio artificializado; Cultivos transitorios; Cultivos permanentes; Aíroz	< 1km	< 1km	>5km	2 - 0 Km	0 - 1 Km	>18Km	<1 km	<1 km	>8km	<0,5 km	< 1km	< 1km	> 6Km.

Empleando como base la información de coberturas de la tierra del área de estudio, se generó la capa de parches de hábitat de cada una de las especies seleccionadas, identificando de acuerdo con la ponderación de resistencia del paisaje. Para cada una de las coberturas de la tierra identificadas fueron asignados rangos de *home range* respecto a las categorías de resistencia acumulada que condicionan la presencia y movilidad de los mamíferos seleccionados clasificándose como hábitat óptimo, subóptimo y deficiente, siguiendo la metodología propuesta por López (2010).

Modelamiento de la conectividad estructural

Los corredores ecológicos propuestos se diseñaron, mediante el software ArcGis 10.5, basados en rutas de mínimo costo, a partir del análisis de resistencia del paisaje y de los parches que ofrecen aptitud de hábitat para las especies seleccionadas. En la Figura 2, se muestra el proceso cartográfico para la generación de los corredores ecológicos.

Figura 2. Proceso cartográfico para el diseño de corredores de conectividad



Para el proceso del cálculo se usaron las funciones *Cost-Weighted* (costo ponderado) mediante la cual se analiza la distancia ponderada para averiguar el costo acumulativo de cada celda a su fuente más cercana, en este caso el valor de resis-

tencia más bajo para llegar de un sitio a otro, y *distance and Least Cost Paths* (ruta de menor costo) que determina la ruta de menor costo desde un punto de destino hasta un origen, esta utiliza dos rásteres derivados de la función de costo ponde-

De acuerdo con los criterios de expertos locales consultados, se consideró como hábitat óptimo para *T. terrestris*, todos aquellos remanentes de coberturas naturales que tienen un tamaño mínimo de superficie igual a 4 km², mientras que para *A. seniculus* aquellos parches boscosos con una extensión mínima de 1 km²; por su parte para *P. onca* los parches de hábitat óptimos corresponden a todas aquellas coberturas naturales boscosas con un área mínima de 8 km² y para *P. brasiliensis* todos aquellos parches asociados a ecosistemas naturales acuáticos y que exhiben asociaciones de vegetación boscosa que cumplen con una longitud mínima de 40 km (Figura 4).

Partiendo de la integración de los resultados arrojados por el modelo de paisaje y los criterios comportamentales y de distribución de las especies seleccionadas generados por los expertos locales consultados para cada una de estas, se obtuvo el diseño de 8 corredores de conectividad para las 4 especies seleccionadas de mamíferos

(Figura 5), los cuales, permiten definir las rutas de menor costo en términos estructurales para la movilidad y distribución de las especies sobre el paisaje analizado.

En este sentido, el corredor de jaguar ocupó la mayor área dentro del paisaje analizado, con 1655 km², las cuales permiten la conectividad entre 10 áreas protegidas entre los municipios de Paz de Ariporo, Hato Corozal y Trinidad. Por otra parte, el corredor denominado "Aullador 1", presentó la menor representatividad en términos de área con 95,76 km², conectando 4 áreas protegidas localizadas sobre el piedemonte llanero en el municipio de Yopal. En la Tabla 2 se presentan las características de cada uno de los corredores obtenidos para *P. onca*, *P. brasiliensis*, *T. terrestris* y *A. seniculus* y las áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas -SINAP sobre las cuales se potencia estructuralmente la posibilidad de desplazamiento y movilidad de estas especies.

Figura 4. Parches de hábitat obtenidos para (a) *Panthera onca*; (b) *Pteronura brasiliensis*; (c) *Tapirus terrestris*; (d) *Alouatta seniculus*

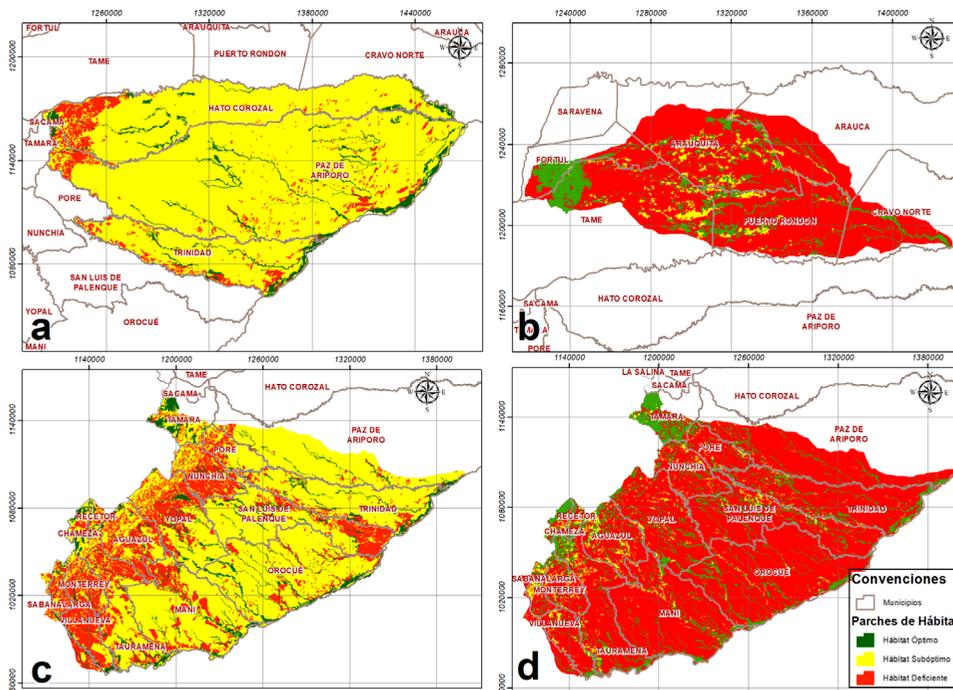


Figura 5. Corredores diseñados en la Orinoquía colombiana para las especies *Tapirus terrestris* (danta de tierras bajas), *Alouatta seniculus* (mono aullador), *Panthera onca* (jaguar) y *Pteronura brasiliensis* (nutria gigante de río)

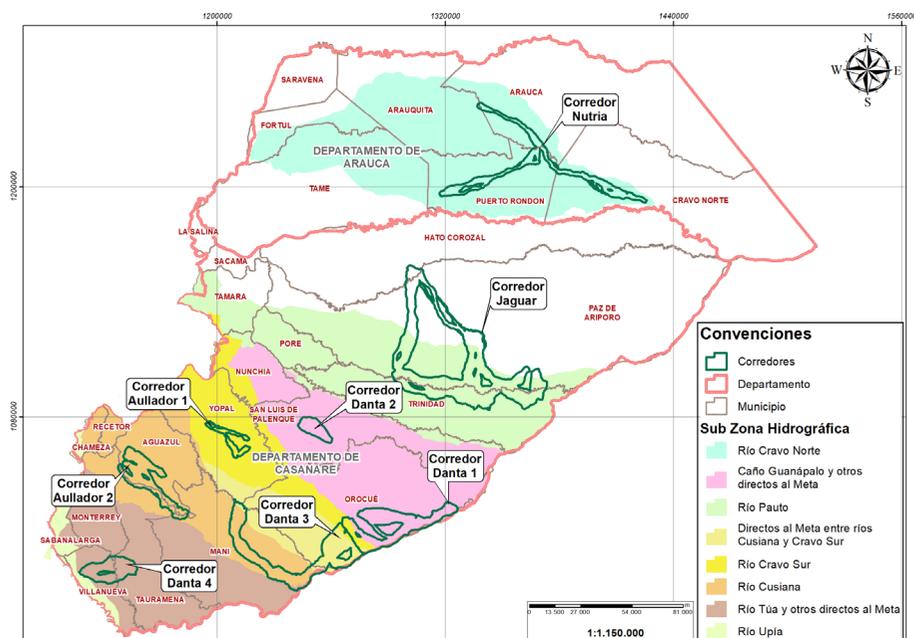


Tabla 2. Características de los corredores obtenidos

Corredor	Localización	Área (km ²)	Longitud (km)	SZH	Áreas protegidas (RUNAP) conectadas
Danta 1	Orocué hacia la ribera del río Meta	596,34	69,27	- Caño Guanápalo y otros directos al Meta - Río Cravo Sur - Directos al Meta entre ríos Cusiana y Cravo Sur	RNSC Palmarito RNSC La Reforma RNSC Casambá RNSC Los Musos RNSC Corocito RNSC Las Malvinas RNSC Rancho Paravare III
Danta 2	San Luis de Palenque	123,91	19,71	- Caño Guanápalo y otros directos al Meta	RNSC Hato Venecia de Guanápalo RNSC El Boral RNSC Mata de Palma RNSC Altamira RNSC Montana RNSC Matabrava RNSC La Bramadora RNSC Rancho Paravare III
Danta 3	Orocué y Maní	757,41	95,3	- Río Cravo Sur - Directos al Meta entre ríos Cusiana y Cravo Sur - Río Cusiana - Río Túa y otros directos al Meta	RNSC Corozito RNSC La Palma
Danta 4	Monterrey, Villanueva y Tauramena	270,91	30,61	- Río Túa y otros directos al Meta - Río Uplía	RNSC La Algarabía DRMI Mata de la Urama
Nutria	Arauquita, Arauca, Puerto Rondón y Cravo Norte	499,96	166,4	- Río Cravo Norte	Raudal de Matepalma Nueva Área de Conservación: Sabanas y Humedales de Arauca

Corredor	Localización	Área (km ²)	Longitud (km)	SZH	Áreas protegidas (RUNAP) conectadas
Jaguar	Hato Corozal, Paz de Ariporo y Trinidad	1655,30	287,7	- Río Pauto	RNSC La Aurora RNSC El Milagro RNSC La Esmeralda RNSC Medano Los Morrucos. RNSC Los Matapalos del Lagunazo RNSC Betania del Lagunazo. RNSC Algarrobo del Lagunazo RNSC El Lagunazo RNSC Limonal RNSC Palmeras
Aullador 1	Yopal	95,76	55,24	- Río Cravo Sur	RNSC Fundo Palmarito. RNSC El Madroño. RNSC Amanecer en el Palmar 1 RNSC Amanecer en el Palmar 2
Aullador 2	Aguazul, Maní y Tauramena	395,26	43,92	- Río Cusiana	PNR Los Farallones DRMI Tinije DRMI Bocachico

Convenciones: SZH (Subzona Hidrográfica), RNSC (Reserva Natural de la Sociedad Civil, DRMI (Distrito Regional de Manejo Integrado), PNR (Parque natural Regional)

DISCUSIÓN

La región de la Orinoquía colombiana, en especial sus ecosistemas de sabana han sido empleadas de manera intensiva para la producción de bienes y servicios relacionado con el desarrollo económico local y nacional (Correa, 2006) (Etter, 2008). Esto ha tenido como consecuencia cambios en la estructura del paisaje, asociados principalmente al reemplazo de coberturas naturales por aquellas antropizadas, se calcula que para el 2007, el 23% del área que comprende esta región habría tenido algún tipo de cambio (Romer, Flantua, y Tansey, 2012). Es por esta razón que se considera relevante identificar áreas que potencien la conectividad del paisaje a partir de sus propiedades estructurales, como herramienta de planificación del territorio con el fin de priorizar estrategias de conservación. El presente estudio integró información detallada de la configuración de los elementos del paisaje así como aspectos de comportamiento y movilidad de especies focales por un área geográfica, basándose en estudios previos que se fundamentan en modelos de menor costo para evaluar los procesos de conectividad del paisaje, los cuales no solo tienen en cuenta la distancia entre los parches de hábitat sino que también integran el grado de resistencia o fricción a la movilidad de

los organismos entre dichos parches (Adriaensen, y otros, 2003).

El presente estudio integró información detallada de la configuración de los elementos del paisaje así como aspectos de comportamiento y movilidad de especies focales por un área geográfica, basándose en estudios previos que se fundamentan en modelos de menor costo para evaluar los procesos de conectividad del paisaje, los cuales no solo tienen en cuenta la distancia entre los parches de hábitat sino que también integran el grado de resistencia o fricción a la movilidad de los organismos entre dichos parches (Adriaensen, y otros, 2003).

Esta herramienta de modelamiento ha centrado atención en estudios de manejo de paisaje involucrando el movimiento de especies focales (Adriaensen, y otros, 2003), en donde a partir de la teoría de grafos se identifican las rutas que mejor facilitan la movilidad de individuos entre parches de hábitat (Urban, 2001) (Adriaensen *et al.*, 2003) (Rayfield B, 2010). En el modelo evaluado de menor costo, cada una de las celdas que componen al paisaje se encuentran conformadas por un conjunto de características con valores de resistencia que facilitan el movimiento, o bien, aquellas que generan dificultad en el proceso de dispersión de para las especies (Adriaensen, y otros, 2003).

Dicho modelo corresponde a un método utilizado para medir distancias efectivas entre parches de hábitat teniendo en cuenta la capacidad de dispersión entre ellos. Las rutas de mínimo costo propuestas por Adriaensen y colaboradores (2003), como su nombre lo indica, representan el camino que acumula la menor resistencia entre dos parches de hábitats y se visualizan en el paisaje evaluado como una línea de un pixel de ancho.

Los corredores obtenidos permitieron conectar áreas protegidas presentes en los departamentos de Arauca y Casanare, que representan ecosistemas estratégicos en donde se desarrollan acciones enfocadas en la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales. Con el diseño de los corredores se favorece el intercambio genético entre los fragmentos (Rabinowitz, 2010) a través del incremento del movimiento de individuos entre estos, que incluso puede aumentar hasta en un 50% en comparación con aquellos parches que no presentan conexión alguna (Gilbert-Norton *et al.*, 2009), siendo las áreas seleccionadas como aquellas que presentaron las mejores condiciones estructurales para las especies seleccionadas.

Es relevante mencionar que los corredores obtenidos, sirven como una estrategia para mantener las poblaciones de las especies *P. onca*, *A. seniculus*, *P. brasiliensis* y *T. terrestres* en la Orinoquía, ya que, se ha reportado una disminución como consecuencia de la pérdida de hábitat, fragmentación de bosques y áreas naturales, así como la cacería indiscriminada; acciones que incrementan su vulnerabilidad frente a otros eventos naturales y antrópicos (Alviz y Pérez-Albarracín, 2015).

Estos grandes y medianos mamíferos utilizan grandes extensiones de hábitats que incluyen principalmente bosques, bosques de galería, cuerpos de agua, moriches y sabanas, que constituyen además elementos que proveen refugio, alimentación, zonas de reproducción y dispersión en el cual convergen cerca de 200 mamíferos terrestres y voladores (Usma y Trujillo, 2011), entre los que se encuentran venados, pecaríes y chigüiros que son

presas para *P. onca* (Suárez-Castro y Ramírez-Chaves, 2015). La variable de construcciones se tuvo en cuenta, considerando a que es aquella que responde de manera estructural en el paisaje al conflicto felino-humano, el cual, constituye una de las principales amenazas a la conservación de estos mamíferos en la región de la Orinoquía (Castaño Uribe, 2016) (Mosquera-Guerra, 2020).

Medir y modelar la conectividad teniendo como enfoque especies sombrilla de la región resulta ventajoso para la planificación del territorio de la Orinoquía, ya que se convierte en una guía para el desarrollo de acciones de gestión más específicas que respondan a la ecología e historia natural de las especies (Kirk, *et al.*, 2023). Estos deben evaluarse con métodos que sean fáciles de reproducir con el fin de lograr definir a futuro la efectividad del diseño e implementación de las estrategias propuestas para los corredores.

Otra ventaja de establecer corredores considerando los requerimientos ecológicos de estos mamíferos, es que cada corredor no solo permitirá el paso de dichas especies, sino que además resultará óptimo para otras presentes en el ecosistema y que de manera directa o indirecta pueda relacionarse con las especies objeto del corredor (Ortiz, 2020).

Es importante precisar que el presente análisis se basa exclusivamente en la estructura espacial del paisaje y no corresponde a la respuesta que las especies de fauna seleccionadas tienen frente a las condiciones actuales de su hábitat en el paisaje analizado o a los diseños de corredores ecológicos estructurales obtenidos. Por lo tanto, el resultado del presente trabajo ofrece una herramienta de planificación del territorio que servirá para nuevas investigaciones validen los corredores una vez se ejecuten las estrategias de conservación y/o uso sostenible y midan aspectos funcionales de las especies utilizando métodos de campo que permitan determinar la presencia/ausencia de los individuos como son el uso de cámaras trampa, registro de huellas y telemetría de los organismos. Así mismo analizar otro tipo de

variables relacionadas con la ecología de las especies seleccionadas que no fueron contempladas en el presente estudio se considera relevante para futuras investigaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Frontera Energy Colombia Corp. por la financiación del proyecto, a Ámbar Ramírez por su participación y al equipo técnico y administrativo de la Fundación Orinoquia Biodiversa por su apoyo durante las diferentes etapas del estudio.

REFERENCIAS

- Adriaansen F, Chardon J, De Blust G, Swinnen E, Villalba S, Gulinck H. The application of least-cost modelling as a functional landscape model. *Landscape and urban planning*. 2003;233-247.
- Alonso FA, Finega B, Brenes C, Günter S, Palomeque X. Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi, Ecuador. *Revista Caldasia*. 2017;39(1):140-156. <https://doi.org/10.15446/caldas.v39n1.64324>
- Alviz Á, Pérez-Albarracín K. 2015. Plan para la conservación de la danta de tierras bajas (*Tapirus terrestris*) en los departamentos de Casanare, Arauca y Vichada. Corporinoquia, Fundación Orinoquia Biodiversa, Yopal, Casanare. p. 60.
- Alviz Á, Pérez-Albarracín, K. 2018. Caracterización de fauna para el establecimiento de nuevas Reservas Naturales de la Sociedad Civil en Arauca. Fundación Orinoquia Biodiversa. <https://doi.org/10.15472/n2c9up>
- Alviz Á. 2019. Fauna y Flora de Cinaruco - 2014- 2016. Versión 2.1. Parques Nacionales Naturales de Colombia. <https://doi.org/10.15472/uzt8fr>
- ANAM - Autoridad Nacional de Ambiente. 2011. Plan de acción para la conservación de los jaguares en Panamá. Gobierno Nacional República de Panamá, Autoridad Nacional de Ambiente, Corredor Biológico Mesoamericano del Atlántico Panameño. Ciudad de Panamá, Panamá.
- Bani L, Baietto M, Bottoni L. The use of focal species in designing a habitat network for a lowland area of Lombardy, Italy. *Conservation Biology*. 2002;16(3): 826-831.
- Beier P, Majka D, Spencer D. Forks in the road: choices in procedures for designing wildland linkages. *Conservation Biology*. 2008;22(4):836-851.
- Bustamante, R., Grez, A. Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. *Ambiente y Desarrollo*. 1995;11(2):58-63.
- Bennett, A. 2003. Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, IUCN.
- Castaño-Urbe CC. 2016. Conflictos entre felinos y humanos en América Latina. Bogotá D.C: Instituto Humboldt.
- Coelho I, Oliveira I, Oliveira M, Cordeiro J. The Importance of Natural Licks in Predicting Lowland Tapir (*Tapirus terrestris*, Linnaeus 1758) Occurrence in the Brazilian Pantanal. *Tapir Conservation*. 2008;17(2):5-10.
- Correa HR. 2006. Plan de Acción en Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco 2005-2015. Propuesta técnica. Bogotá: Instituto de Investigaciones en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Correa CA, Mendoza ME, López E. Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande*. 2014;59:7-23. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022014000300002>.
- Correa C, Mendoza ME, Etter A, Perez DR. Anthropogenic impact on habitat connectivity: A multi-

- dimensional human footprint index evaluated in highly biodiverse landscape of Mexico. *Ecological Indicators*. 2017;(72):895-909
- Díaz-López DL, Mora-Fernández C, Rodríguez-Posada ME. 2023. Caracterización de Fauna y Flora en ecosistemas de piedemonte, montaña y humedales en el departamento del Casanare. Version 1.5. Fundación Reserva Natural La Palmita - Centro de Investigación. <https://doi.org/10.15472/fvmxmo>
- Driscoll DA, Banks SC, Barton PS, Lindenmayer DB, Smith AL. Conceptual domain of the matrix in fragmented landscapes. *Trends in Ecology y Evolution*. 2013;28(10):605-613.
- Dunning JB, Danielson BJ, Pulliam HR. Ecological processes that affect populations in complex Landscapes. *Oikos*.1992;65(1):169-175.
- Escudero SP. (2005). Patrón de actividad, recorridos diarios y dieta de *Auloatta seniculus* en fragmentos de bosque de galería, San Martín (Meta). Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Carrera de Biología. Bogotá, D.C.
- Etter AM. Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: a regionalized spatial approach. *Annals of the American Association of Geographers*. 2008;98(1):2-23
- Etter A, McAlpine C, Seabrook L, Wilson K. Incorporating temporality and biophysical vulnerability to quantify the human spatial footprint on ecosystems. *Biological Conservation*. 2011;144(5):1585-1594. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.02.004>
- Fahring L. Non-optimal animal movement in human-altered landscapes. *Functional Ecology*. 2007;21(6):1003-1015. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01326.x>
- Franco MC, Ribas C, Pérez K. (2015). La nutria gigante en Arauca: ecología, percepción cultural y retos para su conservación. Corporinoquia-Fundación Orinoquia Biodiversa, Yopal, Casanare. p. 203.
- García F, Abad J. Los corredores ecológicos y su importancia ambiental: Propuestas de actuación para fomentar la permeabilidad y conectividad aplicadas al entorno del río Cardeña (Ávila y Segovia). *Observatorio Medioambiental*, 2014; 17:253-298. https://doi.org/10.5209/rev_OBMD.2014.v17.47194
- García MJ, Medici EP, Naranjo EJ, Novarino W, Leonardo RS. Distribution, habitat and adaptability of the genus *Tapirus*. *Integrative Zoology*, 2012;7:346-355. DOI: 10.1111/j.1749-4877.2012.00317.x
- Gilbert-Norton WR, Stevens J. A meta analytic review of corridor effectiveness. *Conservation Biology*, 2009;24:660-668
- Gómez-Posada C, Roncancio N, Hincapié P. (2005). Evaluación de las poblaciones de mono aullador rojo (*Alouatta seniculus*: Primates) en fragmentos de bosque en el Valle del Cauca. Manuscrito no publicado. Corporación Regional del Valle del Cauca, Cali, Colombia.
- González TM, Kaston F, Armenteras D. Aportes al uso de coberturas de la danta de tierras bajas *Tapirus terrestris colombianus* Hershkovitz 1954 (Perissodactylia: Tapiridae) en la Sierra Nevada de Santa Marta en las cuencas río Ancho y Palomino - Norte de Colombia. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. Univ. Caldas*, 2014;18(1):125-137.
- Instituto Agustín Codazzi. (2016). Catálogo de objetos geográficos cartografía básica digital. Bogotá: IGAC.
- Isasi-Catalá E. Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, banderas y claves: su uso y abuso en ecología de la conservación. *Interciencia*. 2011;36(1):31-38. <https://www.re-dalyc.org/pdf/339/33917727005.pdf>
- Kirk H, Soanes K, Amati M, Bekessy S, Harrison L, Parris K, Ramalho C, van de Ree R, Threlfall C. Ecological connectivity as a planning tool for the conservation of wildlife in cities. *MethodsX* 10, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101989>

- Lasso CA, Usma JS, Trujillo F, Rial A. (2010). Biodiversidad de la cuenca del Orinoco: bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia), Bogotá, Colombia. p. 611
- Laurance WF. (2010) Habitat destruction: death by a thousand cuts. 73-86 In: Sodhi and Ehrlich (eds): Conservation Biology for All. Oxford University Press. 344 p.
- Lindernmayer D, Franklin J. (2002). Conserving forest biodiversity: comprehensive multi-scaled approach. Island Press, Washington, USA. p. 133.
- López H. (2010). Efecto de la pérdida de conectividad del bosque mesófilo de montaña en la diversidad de mamíferos medianos en la cuenca alta del río La Antigua, Veracruz. (Tesis de Doctorado). Instituto Nacional de Ecología, Veracruz, México.
- Lozano-Zambrano FH. (2009). Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Bogotá, D. C., Colombia. p. 242.
- Medici EP. (2010). Assessing the viability of lowland tapir populations in a fragmented landscape. Tesis de Doctorado. Durrell Institute of Conservation and Ecology. University of Kent. Canterbury, Reino Unido. p. 276.
- Mosquera-Guerra F. (2020). Felinos. Bogotá D.C: Fundación Omacha y Project Design Development Colombia.
- Noss RF. The wildlands project: land conservation strategy. Wild Earth, Special Issue. 1992;10-25
- Primack R, Rozzi R, Feinsinger P, Massardo F. (2001). Fundamentos de conservación biológica. Perspectivas latinoamericanas. Fondo de Cultura Económica. México D.F, México. p. 797.
- Rabinowitz A. A range-wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, *Panthera onca*. *Biological Conservation*, 2010;143:945-949
- Rayfield BFA. The sensitivity of least-cost habitat graphs to relative cost surface values. *Landscape Ecology*. 2010;25:519-532
- Romer M, Flantua S, Tansey K. Landscape transformations in savannas of northern South America: Land use/cover changes since 1987 in the Llanos Orientales in Colombia. *Applied Geography*. 2012;32:766-776
- Salom-Pérez R, Polisar J, Quigley H, Zeller K. Iniciativa del Corredor del Jaguar: Un Corredor Biológico y un Compromiso a Largo Plazo para la Conservación. *Mesoamericana*. 2010;14(3):25-34
- Steinmetz R, Seuaturien N, Chutipong W. Tigers, leopards, and dholes in a half empty forest: assessing species interactions in a guild of threatened carnivores. *Biological conservation*: 2013;163(68):68-78. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.12.016>
- Suárez-Castro A, Ramírez-Chaves H. (2015). Los carnívoros terrestres y semiacuáticos continentales de Colombia. Guía de campo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Ciencias, Bogotá, Colombia. p. 224.
- Taylor PD, Fahring L, Henein K, Merriam G. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*. 1993;68(3):571-573.
- Urban D, Keitt L. Landscape connectivity: a graph theoretic perspective. *Ecology*. 2001;82:1205-1218

- Usma JS, Trujillo F. (2011). Biodiversidad del Casanare: Ecosistemas Estratégicos del Departamento. Gobernación de Casanare- WWF Colombia. Bogotá D.C. p. 286
- Valderrama C, Kattan G. (2006). Plan de manejo del mono aullador rojo (*Alouatta seniculus*) en la región del Sirap-Eje Cafetero y Valle del Cauca. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Fundación EcoAndina/WCS Colombia, Bogotá, D. C, Colombia. p. 91.
- Zeller K, McGarigal K, Whiteley R. Estimating landscape resistance to movement: a review. *Landscape Ecol.* 2012;(27):777-797
- Zunino M, Palestrini C. El concepto de especie y la biogeografía. *Anales de Biología.* 1991;17(6):85-88